Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 711-722

Evaluation of Genetic Variance Components and Combining Abilities of Some Quantitative Traits in Tomato Cultivars Using Line×Tester Analysis

Gh. Kiani[1]*- S. Golcheshmeh[2]

Received: 20-08-2022
Revised: 05-03-2023
Accepted: 03-04-2023
Available Online: 03-04-2023

How to cite this article:
Kiani, Gh., & Golcheshmeh, S. (2023). Evaluation of genetic variance components and combining abilities of some quantitative traits in tomato cultivars using Line×Tester analysis. *Journal of Horticultural Science*, *37*(3), 711-722. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.78350.1190

Introduction

Tomato is a self-pollinated crop and has a high potential for heterosis production. Tomato has a wide range of diversity in terms of vegetative and fruit traits. Therefore, learning information about the genetics of the tomato plant and the inheritance of its various traits to the next generation will help plant breeders to use appropriate breeding methods to improve them. One of the methods that is used to know the genetic structure of plants, identify parental lines and determine their combining ability is line × tester analysis. Line × tester analysis provides information about general and specific combining of parents and can be useful in estimating different types of gene effects such as additive and non-additive effects. In most of the developed countries, many researches have been done in relation to hybrid production and combining ability among tomato lines, and sometimes the inferred results are different from each other. In Iran, few studies have been done about crossing cultivars and their hybrids, and most of the seeds used by farmers are imported from other countries. Therefore, this study intends to evaluate genetic variance components, general and specific combining ability of some quantitative traits in a number of tomato lines and testers and their hybrids by using line × tester analysis.

Materials and Methods

This research was conducted in Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran Province, Iran in 2022. Two modified cultivars SC and V as lines and three modified cultivars L, R and MZ as testers were crossed with each other to create F_1 hybrids. Six F_1 genotypes and their parents (11 treatments in total) were cultivated in the farm in a randomized complete block design with three replications. The evaluated traits included the number of days to the first flowering, earliness, number of fruits per plant, fruit weight per plant (g), fruit yield (g), fruit length and width (cm). In order to analyze the variance of the experimental design to search for diversity between treatments, to separate the effects of treatments into their components based on line × tester analysis, to mean comparison with Duncan's test, and also to calculate the general and specific combining ability, R statistical software was used. Also, in order to calculate additive and non-additive variances, Singh and Chaudhary's method was used.

Results and Discussion

The results of line × tester variance analysis showed that the mean squares of parents and testers were significant for all traits except fruit length and width, and the mean squares of crosses and lines were significant for all traits except fruit length. The effect of line × tester was significant for all traits except the number of fruits per plant and fruit length. The line of SC to improve the number of days to first flowering, earliness, plant

1 and 2- Associate Professor and Former Ph.D. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: gh.kiani@sanru.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2023.78350.1190

height, fruit weight per plant, and fruit width, and the line of V to improve the number of fruit per plant were the best general combiners with testers. The tester of L for improve all traits except yield, and the tester of MZ for improve plant height were the best general combiners with the maternal lines. Among the crosses, the SC×L cross for improve earliness and fruit width, and the SC×R and V×MZ crosses for improve plant height and fruit weight per plant, respectively, were favorable specific combiners. The mean comparison of the genotypes for some important traits showed that among the parental cultivars, the line of SC and among the crosses, the SC×L genotype had the lowest means for the number of days to first flowering and earliness. Also, the line of SC for the number of fruits per plant and the SC×L genotype for fruit weight per plant, yield and fruit width had the highest means. Also, the estimation of additive and non-additive variances indicated that in plant height and fruit weight per plant traits, additive variance plays the main role. While for the traits of the number of days to first flowering, earliness and yield, the contribution of non-additive variance was more than the additive variance.

Conclusion

According to the results obtained from this study, in future projects it is recommended to use parents that have significant general combining ability (GCA) for traits. Because such parents easily transfer the trait to their next generation. In this way, the line of SC was a good general combiner for the number of days to first flowering, earliness, plant height, fruit weight per plant and fruit width, and the line of V was a good general combiner for the number of fruits per plant. Among the testers, the tester of L was a good general combiner for improve the number of days to first flowering, earliness, number of fruits per plant, fruit weight per plant, and fruit width, and the tester of MZ recorded a high GCA for the plant height. Also, for the improvement of earliness and fruit width, the SC×L cross and for plant height and fruit weight per plant, SC×R and V×MZ crosses were favorable specific combiner. Mean comparison of genotypes showed that the SC×L cross is superior to its parents for the number of days to first flowering, earliness, fruit weight per plant, fruit yield, and fruit length and width. The traits of plant height and fruit weight per plant are more affected by additive variance, so the best breeding method to improve plant height and fruit weight per plant is selection from among the segregating population. The traits of number of days to first flowering, earliness and yield were affected by non-additive variance, so hybrid production is recommended to improve the mentioned traits.

Keywords: Additive variance, Line, Non-additive variance, Tester, Tomato

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص. ۷۲۲-۷۱۱

ارزیابی اجزای واریانس ژنتیکی و قابلیت‌های ترکیب‌پذیری برخی صفات کمی در ارقام گوجه‌فرنگی با استفاده از تجزیه لاین×تستر

غفار کیانی[1*]- ساسان گل چشمه[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴

چکیده

پژوهش حاضر با هدف برآورد اجزای واریانس ژنتیکی و قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برخی صفات کمی در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی با استفاده از تجزیه لاین×تستر انجام شد. لاین‌های SC و V به‌عنوان پایه مادری و تسترهای L، R و MZ به‌عنوان والدین پدری با یکدیگر تلاقی یافتند و در سال بعدی شش نتاج هیبرید به‌همراه والدین تلاقی‌ها در آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری کشت شدند. صفات مورد ارزیابی شامل تعداد روز تا اولین گل‌دهی، زودرسی (تعداد روز از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه)، تعداد میوه در بوته، وزن میوه در بوته (گرم)، عملکرد میوه (گرم)، طول و عرض میوه (سانتیمتر) بودند. نتایج تجزیه واریانس لاین×تستر نشان داد میانگین مربعات والدین و تسترها برای تمامی صفات به‌جز طول و عرض میوه و میانگین مربعات تلاقی‌ها و لاین‌ها برای تمامی صفات به‌جز طول میوه معنی‌دار بودند. اثر لاین×تستر برای تمامی صفات به‌جز تعداد میوه در بوته و طول میوه معنی‌دار بود. لاین SC برای بهبود صفات تعداد روز تا اولین گلدهی، زودرسی، ارتفاع بوته، وزن میوه در بوته و عرض میوه و لاین V برای بهبود صفت تعداد میوه در بوته ترکیب‌شونده‌های عمومی مناسبی با تسترها بودند. تستر L برای بهبود تمام صفات به‌جز عملکرد و تستر MZ برای بهبود صفت ارتفاع بوته بهترین ترکیب‌شونده‌های عمومی با لاین‌های مادری بودند. در میان تلاقی‌ها، تلاقی SC×L برای بهبود صفات زودرسی و عرض میوه و تلاقی‌های SC×R و V×MZ به‌ترتیب برای بهبود صفات ارتفاع بوته و وزن میوه در بوته ترکیب‌شونده‌های خصوصی مطلوبی بودند. بررسی متوسط وضعیت ژنوتیپ‌ها نشان داد از میان ارقام والدینی، لاین SC و از میان تلاقی‌ها، ژنوتیپ SC×L کم‌ترین میانگین‌ها را برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی و زودرسی داشتند. همچنین لاین SC برای صفت تعداد میوه در بوته و تلاقی SC×L برای صفات وزن میوه در بوته، عملکرد و عرض میوه بیش‌ترین میانگین‌ها را به خود اختصاص دادند. در میان والدین، لاین‌های مادری SC و V به‌ترتیب برای صفات تعداد میوه در بوته و ارتفاع بوته، تستر L برای صفت عملکرد میوه و تستر MZ برای صفات وزن میوه در بوته و عرض میوه بیش‌ترین میانگین‌ها را ثبت کردند. در میان تلاقی‌ها، تلاقی SC×L برای صفات وزن میوه در بوته، عملکرد و عرض میوه، تلاقی L×V برای صفت تعداد میوه در بوته و تلاقی V×MZ برای صفت ارتفاع بوته بیش‌ترین میانگین‌ها را به خود اختصاص دادند. به‌طور کلی، بررسی متوسط وضعیت ژنوتیپ‌ها نشان داد هیبرید SC×L برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی، زودرسی، وزن میوه در بوته، عملکرد میوه و طول و عرض میوه برتر از والدین خود می‌باشد. برآورد واریانس‌های افزایشی و غیرافزایشی نشان داد در صفات ارتفاع بوته و وزن میوه در بوته، واریانس افزایشی نقش اصلی داشته و گزینش از میان نسل‌های درحال تفکیک روش اصلاحی مناسبی برای صفات مذکور است. درحالی‌که برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی، زودرسی و عملکرد سهم واریانس غیرافزایشی بیش‌تر از واریانس افزایشی بود، لذا برای بهبود صفات مذکور تولید هیبرید توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تستر، گوجه‌فرنگی، لاین، واریانس افزایشی، واریانس غیرافزایشی

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانش آموخته دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: gh.kiani@sanru.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.78350.1190

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicom* L.) دومین محصول مهم صیفی در دنیا بعد از سیب زمینی بوده و به‌دلیل پتانسیل بازدهی بالا و تقاضای بسیار زیاد مصرف کنندگان، محصولی است که به‌طور گسترده کشت می‌شود (Gowthami *et al*., 2022). گوجه‌فرنگی یک محصول خودگرده افشان است و ظرفیت بالایی برای تولید هتروزیس دارا می‌باشد (Saeed *et al*., 2014). منظور از هتروزیس یعنی هیبرید حاصل از تلاقی دو والد نامشابه حداقل نسبت به میانگین والدین، جثه و بنیه بهتری نشان می‌دهد (Farsi and Bagheri, 2013). یک هتروزیس مزایای متعددی در ارتباط با عملکرد و صفات موثر در عملکرد نسبت به لاین‌های خالص دارا می‌باشد. اما اثر هتروزیس در هیبریدهای مختلف F_1 با شدت‌های مختلفی بروز پیدا کرده و به‌طور کامل و دقیق از قبل قابل پیش‌بینی نیست (Burdik, 1954). به‌طور کلی، یک واریته هیبرید زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که تهیه آن به‌صرفه باشد و عملکرد و رشد آن هم بتواند هزینه‌های تولید بذر هیبرید را جبران کند و هم در کل، برای کشتکاران سودمند باشد (Carsono *et al*., 2022). با اینحال، علی رغم وجود معایب و قیمت نسبتاً بالای بذور هیبریدی، به‌دلیل ویژگی‌های کیفی خوب و عملکرد بالایی که دارند، سود خالص سرمایه‌گذاری را به حداکثر رسانده و رغبت اصلاح‌گران گوجه‌فرنگی به‌منظور تولید ارقام تجاری را نیز دو چندان می‌کنند (Solieman *et al*., 2013; Tamta and Sing, 2017). به‌عنوان مثال، مطالعات مختلف در سال‌های اخیر نشان داده است که هتروزیس در هیبریدهای گوجه‌فرنگی منجر به بهبود صفاتی از جمله افزایش بنیه، رشد و تکامل بهتر، زودرسی، افزایش عملکرد و تعداد میوه، مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده محیطی شده است و به‌طور کلی قابلیت سازگاری بیش‌تری در نسل F_1 ایجاد می‌کند. لذا بهبود صفات مهم، هزینه تولید را نیز توجیح‌پذیر می‌کند (Izzo *et al*., 2022؛ Javed *et al*., 2022). خوشبختانه در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی طیف وسیعی از تنوع از نظر صفات رویشی و میوه وجود دارد (Tamta and Sing, 2017) و از اینرو کشورهای توسعه یافته مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با روش‌های دورگ‌گیری، تخمین هتروزیس و قابلیت ترکیب‌پذیری در گوجه‌فرنگی انجام داده‌اند (Ene *et al*., 2023؛ Mirshamsi-Kakhki *et al*., 2008). اما دستیابی به یک هتروزیس برتر، به تبحر اصلاح‌گر در انتخاب والدین تلاقی و روش مورد استفاده جهت اصلاح برای بهبود صفات در گوجه‌فرنگی باز می‌گردد (Tamta and Sing, 2017). زیرا ظهور ویژگی‌های مطلوب و عملکرد بالای هیبریدهای F_1 منعکس کننده ترکیب‌پذیری مناسب والدین تلاقی‌ها می‌باشد (Noori *et al*., 2020).

داشتن اطلاعات در مورد ساختار ژنتیکی و نحوه توارث صفات مختلف به محققان به‌نژادی گیاهی کمک می‌کند تا از روش‌های اصلاحی مناسب برای بهبود آن‌ها استفاده کنند (Kiani *et al*., 2007). از جمله روش‌هایی که به‌منظور شناخت ساختار ژنتیکی گیاهان، شناسایی لاین‌های والدینی و تعیین قابلیت ترکیب‌پذیری آن‌ها استفاده می‌شود، تجزیه لاین × تستر می‌باشد (Noori *et al*., 2020). تجزیه لاین × تستر یک رویکرد مناسب برای تشخیص ژنوتیپ‌های برتر برای تلاقی صفات مورد نظر است (Hosseini *et al*., 2013). به کمک یک ژنوتیپ برخوردار از پایه ژنتیکی وسیع به‌عنوان تستر، می‌توان ترکیب‌پذیری عمومی (GCA[1]) لاین‌ها را با روش تاپ کراس آزمون کرد. تجزیه لاین × تستر در واقع حالت تعمیم یافته روش تاپ کراس است که در آن از چند تستر استفاده می‌شود. بنابراین، تجزیه لاین × تستر اطلاعاتی را در مورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی والدین فراهم می‌کند و همزمان در برآورد انواع مختلف اثرات ژنی مانند اثر افزایشی و غیرافزایشی (انحراف در اثر غالبیت) نیز می‌تواند مفید باشد (Singh and Chaudhary, 1979).

جهت اجرای تجزیه لاین × تستر نیاز است تا نتاج تلاقی گاهاً همراه با والدین یا بدون آن‌ها، یعنی تسترها و لاین‌ها، در یک آزمایش تکراردار با استفاده از یک طرح مناسب مانند طرح بلوک‌های کامل تصادفی ارزیابی شوند (Singh and Chaudhary, 1979). در طرح‌هایی مانند لاین × تستر، ترکیب‌پذیری عمومی از طریق اندازه‌گیری متوسط عملکرد یک لاین در مجموعه‌ای از ترکیبات هیبریدی تعیین شده و اثر افزایشی ژن را اندازه‌گیری می‌نماید و در مقابل ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA[2]) بیانگر عملکرد دو لاین در یک ترکیب هیبریدی است و اثرات غیرافزایشی ژن را ارزیابی می‌کند (Arefi *et al*., 2015). در مطالعه‌ای توسط صیدی و همکاران (Saidi *et al*., 2008) قابلیت ترکیب‌پذیری یازده لاین اصلاح شده گوجه‌فرنگی برای عملکرد و صفات موثر در عملکرد از طریق تجزیه لاین × تستر ارزیابی شده است. در این بررسی لاین M-3-1 و تستر 18-1-1 بهترین قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی را برای صفات عملکرد در هکتار، عملکرد در بوته، تعداد میوه در بوته، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی و ارتفاع بوته داشته‌اند. همچنین برای عملکرد در هکتار، عملکرد در بوته و تعداد میوه در بوته نیز تلاقی دو لاین M-3-1 و18-1-1 بهترین ترکیب بوده است.

اهمیت شناسایی ژرم پلاسم‌های ارزشمند با پتانسیل عملکرد بالا و گزینش والدین برتر تلاقی‌ها به‌کمک تجزیه لاین × تستر به‌منظور

1- General combining ability
2- Specific combining ability

تولید بذور با کیفیت در جهان در مطالعات حسن و همکاران (Hasan et al., 2014)، زنگین و همکاران (Zengin et al., 2015) و کومار و رامانجینی‌گودا (Kumar and Ramanjini-Gowda, 2016) نیز گزارش شده است. لذا اتخاذ تدابیری برای تولید بذور باکیفیت و در دسترس قرار دادن به‌موقع و با قیمت مناسب آن برای کشاورزان امری ضروری جلوه می‌کند. قابل ذکر است صنعت تولید بذر صیفی به‌دلیل قابلیت اشتغال‌زایی و بهره‌وری اقتصادی زیاد، در ایران می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. ولی صنعت تولید بذرهای هیبریدی در انحصار تعداد محدودی از کشورهای جهان قرار دارد و بسیاری از کشورهای پیشرفته از طریق در دست گرفتن صنعت تولید بذر، به‌دنبال حفظ برتری خود بر این بازار بزرگ جهانی هستند. در اکثر کشورهای توسعه یافته پژوهش‌های زیادی در ارتباط با تولید هیبرید و قابلیت ترکیب‌پذیری در بین لاین‌های گوجه‌فرنگی صورت گرفته است و گاهاً نتایج استنتاج شده با یکدیگر متفاوت می‌باشند. از طرفی در داخل کشور مطالعات اندکی در زمینه تلاقی ارقام گوجه‌فرنگی و بررسی هیبریدهای آن‌ها صورت گرفته است و بخش عمده‌ای از بذور مورد استفاده کشاورزان از کشورهای دیگر تهیه می‌شود. جالب است بدانیم در ایران میلیون‌ها هکتار اراضی مرغوب با اقلیم مناسب برای تولید انواع بذور هیبرید و اصلاح شده وجود دارد (Farsi and Bagheri, 2013). به‌همین منظور، این مطالعه در نظر دارد از طریق تجزیه و تحلیل لاین × تستر، به بررسی قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی بین تعدادی از لاین‌های خالص گوجه‌فرنگی و هیبریدهای حاصل از تلاقی میان آن‌ها و همچنین نحوه عمل ژن‌های اثرگذار در شکل‌گیری صفات متفاوت و مرتبط با عملکرد بپردازد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط رشد

پژوهش حاضر در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، استان مازندران، ایران در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. در مدت زمان انجام این پروژه، طبق آمار ایستگاه هواشناسی حداکثر و حداقل دما به‌ترتیب ۱۶/۷ و ۱۱/۲ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت ۸۰ درصد، میانگین بارندگی سالیانه ۵۷۸ میلی‌متر و رژیم آب‌وهوایی منطقه نیمه مرطوب بود.

در این پژوهش از پنج رقم خالص و اصلاح شده داخلی به‌عنوان والدین تلاقی‌های لاین × تستر استفاده شد. از بین این ارقام که بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی و کمی متنوع انتخاب شده بودند، دو والد تحت عناوین SC و V به‌عنوان پایه‌های مادری (لاین‌ها) و سه والد تحت عناوین L، R و MZ به‌عنوان والدین پدری (تسترها) بودند. بر این اساس، در تیرماه سال ۱۴۰۰ بذور والدینی در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری کشت شدند و تا زمان رسیدن کامل میوه‌ها، گلدان‌ها در شرایط کنترل شده گلخانه قرار گرفتند. فرآیند انجام تلاقی‌ها میان لاین‌ها و تسترهای گوجه‌فرنگی به‌منظور تولید بذور F_1 بر اساس روش کیمورا و سینها (Kimura and Sinha, 2008) با کمی تغییرات در مهرماه سال ۱۴۰۰ در گلخانه دانشگاه و در مرحله گل‌دهی ارقام انجام شد. نحوه انجام فرآیند تلاقی (دورگ‌گیری) به این صورت بود که در هنگام فرا رسیدن گل‌دهی در بوته‌های مدنظر گوجه‌فرنگی، از گل‌های کاملاً رسیده‌ی والدین پدری به‌مقدار زیادی پرچم جمع‌آوری شد و پرچم‌های هر والد پدر در پاکت‌های کاغذی مخصوص به خود قرار گرفتند و پاکت‌های حاوی پرچم به‌مدت شش الی هشت ساعت در معرض نور مستقیم خورشید بودند تا پرچم‌های درون آن‌ها کاملاً خشک شوند، سپس با تکان دادن پاکت‌ها عمل گرده‌گیری از آن‌ها انجام شد. هم‌زمان در بوته‌های مربوط به والدین مادری نیز با حذف قسمت‌های پرچم قبل از باز شدن گل‌ها عمل اخته کردن انجام گرفت. سپس در روز بعد، دانه گرده هرکدام از والدین پدری بر روی قسمت کلاله والدین مادری آغشته شد تا فرآیند دورگ‌گیری کامل شود. در نهایت هر بوته مادری با برچسب علامت‌گذاری گردید و مشخصات والدینی آن نیز ثبت شد. بعد از رشد کافی میوه‌های گوجه‌فرنگی، از افراد دورگ فرآیند بذرگیری به‌عمل آمد تا بذور دورگ به‌همراه والدینشان در سال بعدی کشت شوند و ارزیابی‌های مربوطه بر روی آن‌ها اعمال شود.

در سال دوم (۱۴۰۱)، جهت اندازه‌گیری قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی و محاسبه اجزای واریانس ژنتیکی، شش نسل F_1 حاصل از تلاقی‌ها و والدین تلاقی‌ها (جمعاً ۱۱ تیمار) در یک طرح آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری کشت شدند. در هر کرت چهار ردیف کاشت با طول ۲/۵ متر و با فاصله ۹۰ سانتی‌متری از یکدیگر قرار داشت و فاصله بین بوته‌ها پس از انتقال نشاها از گلخانه به روی ردیف‌ها، ۳۰ سانتی‌متر بود (Behzadi and Rakhshanderoo, 2014). آبیاری با استفاده از نوارهای تیپ و با فاصله خروجی روزنه‌های ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. کوددهی با کود دامی پوسیده در اوایل بهار با مقدار ۱۰ تن در هکتار و با کودهای شیمیایی فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم نیز با مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار صورت پذیرفت. همچنین فرآیند سله شکنی و کنترل علف‌های هرز در اوایل رشد بوته‌های گوجه‌فرنگی انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل تعداد روز تا اولین گل‌دهی، زودرسی (تعداد روز از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه)، تعداد میوه در بوته، وزن میوه در بوته (گرم)، عملکرد میوه (گرم)، طول و عرض میوه (سانتیمتر) بودند و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات کمی به‌صورت تصادفی از ۱۰ بوته میانی در هر کرت گرفته شد. برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel استفاده شد. لازم به توضیح می‌باشد

که صفات تعداد میوه در بوته، وزن میوه در بوته و عملکرد میوه پس از برداشت میوه در هر چین محاسبه و اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

اولین مرحله در تجزیه لاین × تستر عبارت است از انجام تجزیه واریانس طرح مورد استفاده و آزمون معنی‌دار شدن تفاوت‌های بین ژنوتیپ‌های متشکل از هیبریدها و والدین. لذا اگر این تفاوت‌ها معنی‌دار باشد، تجزیه لاین × تستر انجام می‌شود. بر این اساس به‌منظور تجزیه واریانس طرح آزمایشی برای اثبات وجود تنوع معنی‌دار بین تیمارها، مقایسه میانگین با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد، تفکیک اثر تیمارها به اجزای مربوطه بر اساس تجزیه لاین × تستر و همچنین محاسبه قابلیت‌های ترکیب پذیری عمومی و خصوصی بر اساس روش کمپتورن (Kempthorne, 1957) و سینگ و چوداری (Singh and Chaudhary, 1979)، از نرم‌افزار آماری R نسخه 4.1.3 و با بهره‌گیری از بسته آماری Agricolae استفاده شد. لازم به ذکر است که از آزمون t به‌منظور انجام آزمون معنی‌داری آثار ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی لاین‌ها و تسترها استفاده شد. نحوه محاسبه واریانس‌های ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی (با فرض عدم وجود آثار متقابل اپیستازی) به‌منظور محاسبه واریانس‌های افزایشی و غیرافزایشی، با استفاده از روش سینگ و چوداری (Singh and Chaudhary, 1979) و بر اساس روابط ۱ تا ۴ بود.

$$CovHS_{(Average)} = \frac{1}{r(2lt-l-t)}\left[\frac{(l-1)M_l+(t-1)M_t}{r\times t} - M_{l\times t}\right]$$ رابطه ۱

$$\sigma^2_{GCA} = CovHS = \left(\frac{1+F}{4}\right)\sigma^2_A$$ رابطه ۲

$$\sigma^2_{SCA} = \frac{M_{l\times t}-M_e}{r}$$ رابطه ۳

$$\sigma^2_{SCA} = \left(\frac{1+F}{2}\right)^2\sigma^2_D$$ رابطه ۴

در این روابط $CovHS_{(Average)}$ متوسط کو–واریانس نتاج نیمه خواهری، M_l، M_t، $M_{l\times t}$ و M_e به‌ترتیب واریانس‌های لاین، تستر، لاین × تستر و خطا، r، t و l به‌ترتیب تعداد تکرار، تعداد لاین و تعداد تستر، σ^2_{GCA} و σ^2_{SCA} به‌ترتیب واریانس‌های GCA و SCA، σ^2_A و σ^2_D به‌ترتیب واریانس‌های افزایشی و غالبیت و F نیز ضریب خویش‌آمیزی است. از آنجایی که در مطالعه حاضر والدین تلاقی‌ها از نوع لاین‌های خالص بودند، لذا ضریب خویش‌آمیزی آن‌ها یک (F=1) در نظر گرفته شد و واریانس‌های ژنتیکی افزایشی و غالبیت بر اساس آن محاسبه شدند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس طرح آزمایشی

نتایج تجزیه واریانس طرح آزمایشی نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد برای کلیه صفات بین ارقام مورد استفاده وجود دارد و بر این اساس تجزیه لاین × تستر انجام شد (جدول ۱). میانگین مربعات ژنوتیپ به میانگین مربعات والدین، والدین × تلاقی‌ها و تلاقی‌ها تفکیک شد که اثر والدین برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی و زودرسی در سطح پنج درصد و برای صفات ارتفاع بوته، تعداد میوه در بوته، وزن میوه در بوته و عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر والدین برای صفات مذکور نشان از تنوع ژنتیکی خوب بین والدین تلاقی‌ها دارد و در صورت گزینش صحیح والدین با تنوع کافی می‌توان مقدار صفت در هیبرید را بهبود داد (Kumar *et al*., 2018). اثر والدین × تلاقی‌ها نیز برای صفت زودرسی در سطح پنج درصد و برای صفات ارتفاع بوته، وزن میوه در بوته و طول میوه در سطح یک درصد معنی‌دار بود و نشان دهنده این است که به‌طور متوسط هتروزیس معنی‌داری برای صفات مذکور وجود دارد. اثر تلاقی‌ها نیز برای تمامی صفات به‌جز طول میوه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، لذا مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی ارقام مورد مطالعه فقط برای آن دسته از صفاتی که اثر تلاقی در آن‌ها معنی‌دار شده بود محاسبه شد (جدول ۱). معنی‌دار شدن اثر تلاقی‌ها برای یک صفت نشان دهنده تنوع ژنتیکی کافی در بین تلاقی‌های به‌دست آمده از نظر آن صفت و آزادی عمل بیش‌تر به‌نژادگر در انتخاب تلاقی برتر می‌باشد (Rachman *et al*., 2022). به‌طور مشابه در مطالعه نوری و همکاران (Noori *et al*., 2020) که با هدف تخمین قابلیت ترکیب‌پذیری برخی صفات عملکردی در گوجه‌فرنگی به روش لاین × تستر انجام شده است، معنی‌داری اثر ژنوتیپ، والدین، والدین × تلاقی‌ها و تلاقی‌ها برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی، زودرسی، ارتفاع بوته و عملکرد گزارش شده است که همسو با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد.

اثر تلاقی‌ها به اجزای آن، یعنی لاین‌ها، تسترها و اثر متقابل لاین × تستر تفکیک شد. اثر لاین برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی و تعداد میوه در بوته در سطح پنج درصد و برای صفات زودرسی، ارتفاع بوته، وزن میوه در بوته، عملکرد و عرض میوه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر تستر نیز برای صفت زودرسی در سطح پنج درصد و برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد میوه در بوته، وزن میوه در بوته و عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). معنی‌دار شدن اثر لاین‌ها و تسترها که به ترتیب والدین مادری و پدری تلاقی‌های حاضر در این مطالعه هستند، نشان می‌دهد که آثار افزایشی ژن‌ها در صفات مربوطه مهم می‌باشند. نتایج مشابه توسط نارا‌سیم‌هامورتی و رامانجینی‌گودا

(Narasimhamurthy and Ramanjini-Gowda, 2013) و پتنیک و همکاران (Pattnaik *et al*., 2020) گزارش شده است. اثر لاین × تستر نیز برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی و عرض میوه در سطح پنج درصد و برای صفات زودرسی، ارتفاع بوته، وزن میوه در بوته و عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). معنی‌داری اثر متقابل لاین × تستر برای صفات مشابه تحقیق حاضر، در مطالعه آرورا و همکاران (Arora *et al*., 2022) نیز گزارش شده است. هرگاه اثر لاین × تستر برای صفتی معنی‌دار شود، به معنی اهمیت اثر غالبیت ژن‌ها در کنترل آن صفت است (Singh and Chaudhary, 1979).

جدول ۱- تجزیه واریانس لاین × تستر برای صفات مورد مطالعه در گوجه‌فرنگی

Table 1- Variance analysis of line × tester for studied traits in tomato

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square: تعداد روز تا اولین گلدهی Number of days to first flowering	زودرسی Earliness	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	وزن میوه در بوته Fruit weight per plant (g)	عملکردYield (g)	طول میوه Fruit length (cm)	عرض میوه Fruit width (cm)
بلوک Block	2	1.49$^{n.s}$	1.48$^{n.s}$	2.16$^{n.s}$	0.43$^{n.s}$	10.29$^{n.s}$	3599.34$^{n.s}$	0.15$^{n.s}$	0.10$^{n.s}$
ژنوتیپ Genotype	10	32.56**	59.56**	744.47**	70.18**	1563.37**	162834.73**	2.28**	0.68**
والدین Parents (P)	4	25.51*	36.97*	138.91**	152.69**	1577.47**	137665.98**	0.23$^{n.s}$	0.47$^{n.s}$
والدین×تلاقی‌ها P × C	1	2.53$^{n.s}$	121.37*	3175.46**	55.30$^{n.s}$	3587.09**	197373.59$^{n.s}$	20.93**	0.32$^{n.s}$
تلاقی‌ها Crosses (C)	5	44.21**	65.28**	742.73**	7.15**	1147.35**	176061.96**	0.18$^{n.s}$	0.92**
لاین‌ها Lines (L)	1	29.83*	128.42**	185.28**	6.12*	4382.66**	249319.20**	0.0008$^{n.s}$	3.52**
تسترها Testers (T)	2	69.44**	32.68*	1597.68**	14.38**	375.68**	235425.28**	0.13$^{n.s}$	0.20$^{n.s}$
لاین×تستر L × T	2	26.17*	66.30**	166.50**	0.44$^{n.s}$	301.37**	80070.03**	0.33$^{n.s}$	0.35*
خطا Error	20	4.46	3.46	5.06	1	7.06	5153.23	0.08	0.08
واریانس افزایشی σ^2_A	-	2.86	-0.16	91.46	1.06	134.28	15236.8	-0.022	0.09
واریانس غالبیت σ^2_D	-	7.23	20.94	53.81	-	98.10	24972.26	-	0.09
واریانس افزایشی/غالبیت σ^2_A/σ^2_D	-	0.39	0.007	1.69	-	1.36	0.61	-	1

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively

اجزای واریانس ژنتیکی

مقادیر محاسبه شده اجزای واریانس ژنتیکی در جدول ۱ نشان داده شده است. در مطالعه حاضر، بیش‌ترین مقادیر واریانس افزایشی (σ2A) مربوط به صفات عملکرد، وزن میوه در بوته و ارتفاع بوته بود. همچنین در صفات وزن میوه در بوته و ارتفاع بوته نسبت واریانس افزایشی به غالبیت (σ2A/σ2D) نیز بیش‌تر از یک شد (جدول ۱)، که این نتیجه حاکی از غلبه ژن افزایشی بر وراثت صفات مذکور به نسل بعدی می‌باشد. لذا برای بهبود صفات وزن میوه در بوته و ارتفاع بوته، انتخاب از بین نسل‌های در حال تفکیک روش اصلاحی مناسبی خواهد بود. برای صفات وزن میوه در بوته و ارتفاع بوته نتایج مشابهی در مطالعه ریحانا و همکاران (Rehanaa *et al*., 2022) گزارش شده است.

از سوی دیگر، بیش‌ترین مقادیر واریانس غالبیت (σ^2_D) نیز به صفات عملکرد، وزن میوه در بوته، ارتفاع بوته، زودرسی و تعداد روز

تا اولین گلدهی اختصاص داشت، اما در صفات عملکرد، زودرسی و تعداد روز تا اولین گلدهی میزان واریانس غالبیت بیش‌تر از واریانس افزایشی بود (جدول ۱). بزرگ‌تر بودن واریانس غالبیت از واریانس افزایشی و همچنین نسبت واریانس σ^2_A/σ^2_D کوچک‌تر از یک نشان دهنده غالبیت اثر غیرافزایشی ژن برای صفات عملکرد، زودرسی و تعداد روز تا اولین گلدهی است. بدین ترتیب بهترین روش اصلاحی برای اصلاح صفات مذکور، بهره‌برداری از هتروزیس می‌باشد. برای صفات عملکرد، زودرسی و تعداد روز تا اولین گلدهی نتایج مشابهی در مطالعه سانخالا و همکاران (Sankhala *et al*., 2022) گزارش شده است. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، به‌نظر می‌رسد که هم اثرات افزایشی و هم غیرافزایشی در کنترل صفات اندازه‌گیری شده نقش دارند. به‌طور مشابه حسن و همکاران (Hasan *et al*., 2014) در مطالعه‌ای به‌منظور تجزیه و تحلیل قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی عملکرد و اجزای آن در گوجه‌فرنگی به کمک تجزیه لاین × تستر، به اهمیت آثار افزایشی و غالبیت در کنترل صفات مورد مطالعه اشاره کرده‌اند.

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها

نتایج مقایسه میانگین (متوسط وضعیت) ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۲ نشان داده شده است. محاسبه متوسط وضعیت ژنوتیپ‌ها یکی از روش‌های معمول برای ارزیابی آن‌ها می‌باشد. در مطالعه حاضر، از میان ارقام والدینی، لاین مادری SC و از میان تلاقی‌ها، ژنوتیپ SC×L کم‌ترین مقادیر را برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی و زودرسی ثبت کردند. هدف اصلاح‌گران از بررسی صفات مذکور در راستای کاهش آن‌ها می‌باشد. این عمل با هدف زودرس کردن میوه در بوته‌های گوجه‌فرنگی صورت می‌پذیرد و ارقام زودرس از نظر تجاری نیز ارزش بالایی خواهند داشت (Golcheshmeh *et al*., 2023). همچنین در میان والدین، لاین مادری SC برای صفت تعداد میوه در بوته، لاین V برای صفت ارتفاع بوته، تستر L برای صفت عملکرد میوه و تستر MZ برای صفات وزن میوه در بوته و عرض میوه بیش‌ترین میانگین‌ها را ثبت کردند. در میان تلاقی‌ها، تلاقی SC×L برای صفات وزن میوه در بوته، عملکرد و عرض میوه، تلاقی V×L برای صفت تعداد میوه در بوته و تلاقی V×MZ برای صفت ارتفاع بوته بیش‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). برای صفت طول میوه، ژنوتیپ‌های هیبرید در گروه آماری a و ارقام والدینی در گروه آماری b قرار گرفتند که این نتیجه نشان می‌دهد تفاوت چندانی در بین ارقام والدینی و همچنین تلاقی‌ها از نظر صفت یاد شده وجود نداشته است. به‌طور کلی، نتایج بررسی متوسط وضعیت ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ هیبرید SC×L برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی، زودرسی، وزن میوه در بوته، عملکرد میوه و طول و عرض میوه از والدین خود برتر می‌باشد (جدول ۲) و از این نظر می‌تواند مورد توجه محققان به‌نژادی قرار بگیرد. نتایج مطالعه کایاک و همکاران (Kayak *et al*., 2022) همسو با نتایج مطالعه حاضر بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک والدین و هیبریدهای گوجه‌فرنگی مورد مطالعه

Table 2- Mean comparison of morphological traits evaluated of tomato parents and hybrids.

صفت Trait / لاین Line	تعداد روز تا اولین گلدهی Number of days to first flowering	زودرسی Earliness	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	وزن میوه در بوته Fruit weight (g/pant)	عملکرد بوته Yield (g/plant)	طول میوه Fruit length (cm)	عرض میوه Fruit width(cm)
SC [a]	95.15^{de}	134.50^{de}	117.91^{d}	22.91^{a}	31.76^{g}	733.39^{c}	3.74^{b}	4.29^{d}
V	95.50^{abcd}	135.36^{de}	134.75^{a}	8.08^{e}	56.94^{ef}	457.39^{d}	4.03^{b}	4.99^{bcd}
L	99.25^{abcd}	138.25^{cd}	124.50^{bc}	17.91^{b}	52.46^{f}	935.69^{b}	3.81^{b}	4.72^{bcd}
R	103.67^{a}	143.08^{ab}	127.08^{b}	7.41^{e}	58.24^{ef}	430.71^{d}	4.45^{b}	4.80^{bcd}
MZ	97.58^{bcd}	140.12^{bc}	119.00^{d}	7.91^{e}	95.24^{b}	752.51^{c}	4.13^{b}	5.38^{ab}
SC × L	92.00^{e}	133.50^{e}	112.08^{e}	11.58^{cd}	107.84^{a}	1249.39^{a}	5.29^{a}	5.97^{a}
SC × R	97.41^{bcd}	142.50^{abc}	95.58^{g}	8.16^{e}	86.79^{c}	707.61^{c}	5.79^{a}	5.24^{abc}
SC × MZ	101.25^{abc}	142.33^{abc}	116.80^{de}	9.25^{de}	91.78^{bc}	847.83^{bc}	5.83^{a}	5.23^{abc}
V × L	99.16^{abcd}	146.00^{a}	106.66^{f}	12.16^{c}	62.87^{e}	764.32^{bc}	5.77^{a}	4.52^{cd}
V × R	96.41^{cde}	141.86^{abc}	78.16^{h}	9.41^{de}	54.80^{f}	515.70^{d}	5.33^{a}	4.70^{bcd}
V × MZ	102.80^{ab}	146.50^{a}	120.39^{cd}	10.91^{cd}	75.12^{d}	818.66^{bc}	5.77^{a}	4.56^{cd}

[a] حروف مخفف نشان دهنده کد لاین‌های مورد استفاده در این مطالعه می‌باشد.

[a] abbreviated characters showing line codes used in this study

قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی والدین

یکی از معیارها برای شناسایی والدینی که بهترین ترکیب شونده برای صفتی خاص هستند، محاسبه قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) والدین می‌باشد. از طریق اندازه‌گیری GCA در تعدادی لاین و تستر می‌توانیم متوسط توانایی یک والد برای تولید نتاج را تعیین کنیم. لذا اگر از بین تعدادی ژنوتیپ که به‌عنوان والدین تلاقی‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، یکی از والدین برای صفتی GCA معنی‌داری را نشان دهد، می‌تواند به‌عنوان والد مطلوب در تولید نتاج هیبریدی که به‌منظور بهبود صفت مدنظر تولید می‌شود مورد استفاده واقع گردد (Choukan, 2008). در مطالعه حاضر، لاین مادری SC از نظر صفات تعداد روز تا اولین گلدهی و زودرسی بیش‌ترین GCA منفی و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد را نسبت به لاین مادری V به خود اختصاص داد (جدول ۳). لذا لاین SC می‌تواند ترکیب شونده عمومی خوبی با تسترهای مورد مطالعه برای تولید نتاجی زودرس با تعداد روز تا گلدهی کمتر باشد. همچنین لاین SC برای افزایش ارتفاع بوته، وزن میوه در بوته و عرض میوه نیز ترکیب شونده مناسبی با تسترهای مطالعه حاضر است. لاین مادری V نیز برای افزایش صفت تعداد میوه در بوته ترکیب شونده خوبی با تسترهای مورد مطالعه بود (جدول ۳). به‌طور مشابه، در مطالعه‌ای توسط اکرم و همکاران (Akram *et al*., 2019) که به‌منظور برآورد قابلیت ترکیب‌پذیری تعدادی لاین و تستر با استفاده از تجزیه ژنتیکی لاین × تستر انجام شده بود، لاین‌هایی با قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی بالا با تسترهای مطالعه شده برای صفات تعداد روز تا گلدهی، زودرسی، ارتفاع بوته، وزن میوه و عملکرد در گوجه‌فرنگی گزارش شده است.

از میان تسترها، تستر L برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی و زودرسی با بیش‌ترین GCA منفی و معنی‌دار در سطح یک درصد بهترین ترکیب شونده عمومی با لاین‌های مورد مطالعه برای کاهش صفات مذکور بود. همچنین تستر L با بیش‌ترین GCA مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بهترین ترکیب شونده عمومی برای افزایش صفات تعداد میوه در بوته، وزن میوه در بوته و عرض میوه بود. این در حالی است که تستر MZ فقط برای صفت ارتفاع بوته دارای بیش‌ترین GCA مثبت و معنی‌دار بود و از حیث این صفت می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. تستر R نیز ترکیب شونده عمومی خوبی برای هیچ کدام از صفات مورد مطالعه نبود (جدول ۳). اثرات GCA بالا به اثرات ژن افزایشی یا اثرات متقابل افزایشی × افزایشی نسبت داده می‌شود و نشان دهنده بخش قابل تثبیت تنوع ژنتیکی است (Lone *et al*., 2022). در پژوهشی سلیم و همکاران (Saleem *et al*., 2009) با استفاده از تجزیه ژنتیکی لاین × تستر به‌منظور شناسایی والدین مناسب برای تولید بذر هیبریدی در گوجه‌فرنگی، اثرات GCA بالا و معنی‌داری در میان تعدادی لاین و تستر برای صفات تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، وزن میوه و عملکرد مشاهده نمودند که همسو با نتایج مطالعه حاضر بود.

جدول ۳- مقادیر ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) ارقام گوجه‌فرنگی مورد مطالعه از نظر صفات مورد بررسی بر اساس تجزیه لاین × تستر

Table 2- General combining ability (GCA) of the rice varieties for studied traits using line × tester analysis

والدین Parents	تعداد روز تا اولین گلدهی Number of days to first flowering	زودرسی Earliness	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	وزن میوه در بوته Fruit weight per plant (g)	عملکرد Yield (g)	عرض میوه Fruit width (cm)
لاین‌ها Lines							
SC [a]	-1.29**	-2.67**	3.20**	-0.59**	15.60**	117.69n.s	0.45**
V	1.29**	2.67**	-3.20**	0.59**	-15.60**	-117.69n.s	-0.45**
خطای استاندارد Standard Error	0.703	0.62	0.74	0.33	0.88	23.92	0.09
تسترها Testers							
L	-2.58**	-2.36**	4.42**	1.62**	5.48**	189.60n.s	0.20**
R	-1.25n.s	0.07n.s	-17.07**	-1.45**	-9.07**	-205.60n.s	-0.06**
MZ	3.85**	2.30**	13.65**	-0.16n.s	3.58**	15.99n.s	-0.14**
خطای استاندارد Standard Error	0.86	0.75	0.91	0.40	1.08	29.36	0.11

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively

[a] حروف مخفف نشان دهنده کد لاین‌های مورد استفاده در این مطالعه می‌باشد.

[a] abbreviated characters showing line codes used in this study

جدول ٤- مقادیر ترکیب پذیری خصوصی (SCA) تلاقی های مورد مطالعه گوجه فرنگی از نظر صفات مورد بررسی بر اساس تجزیه لاین × تستر

Table 3- Specific combining ability (SCA) of the crosses for studied traits of tomato using line × tester analysis

تلاقی‌ها Crosses	تعداد روز تا اولین گلدهی Number of days to first flowering	زودرسی Earliness	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	وزن میوه در بوته Fruit weight per plant (g)	عملکرد Yield (g)	عرض میوه Fruit width (cm)
SC × L [a]	-2.29$^{n.s}$	-3.58**	-0.5$^{n.s}$	0.3$^{n.s}$	6.89**	124.85$^{n.s}$	0.28**
SC × R	1.79$^{n.s}$	2.99**	5.49**	-0.04$^{n.s}$	0.39$^{n.s}$	-21.73$^{n.s}$	-0.18**
SC × MZ	0.52$^{n.s}$	0.59$^{n.s}$	-5**	-0.24$^{n.s}$	-7.26**	-103.11$^{n.s}$	-0.11**
V × L	2.29$^{n.s}$	3.58**	0.5$^{n.s}$	-0.3$^{n.s}$	-6.89**	-124.85$^{n.s}$	-0.28**
V × R	-1.79$^{n.s}$	2.99**	-5.49**	0.04$^{n.s}$	-0.39$^{n.s}$	21.73$^{n.s}$	0.18**
V × MZ	-0.52$^{n.s}$	0.59$^{n.s}$	5**	0.24$^{n.s}$	7.26**	103.11$^{n.s}$	0.11**
خطای استاندارد Standard Error	1.21	1.07	1.29	0.57	1.53	41.44	0.16

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p≤0.01$ and $p≤0.05$, respectively

[a] حروف مخفف نشان دهنده کد لاین‌های مورد استفاده در این مطالعه می‌باشد.

[a] abbreviated characters showing line codes used in this study

قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها

مقادیر محاسبه شده قابلیت ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) ارقام در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، هیچ کدام از تلاقی‌ها برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی، تعداد میوه در بوته و عملکرد معنی‌دار نشده است. اما برای صفت زودرسی، تلاقی SC×L بهترین ترکیب شونده خصوصی در جهت منفی و معنی‌دار در سطح یک درصد به‌منظور کاهش آن صفت بود. همچنین تلاقی‌های SC×R، V×MZ و SC×L به‌ترتیب برای افزایش صفات ارتفاع بوته، وزن میوه در بوته و عرض میوه در جهت مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد، بهترین ترکیب شونده‌های خصوصی می‌باشند (جدول ۴). این نتایج به معنی آن است که صفات یاد شده در ارقام مورد مطالعه توسط آثار غالبیت ژن کنترل می‌گردد، لذا تولید هیبرید جهت افزایش صفات مذکور توصیه می‌شود. ترکیب‌پذیری خصوصی بیانگر عملکرد دو لاین خالص در یک ترکیب هیبریدی است و اثرات غیرافزایشی ژن را ارزیابی می‌کند. شناسایی و تولید هیبریدهای مطلوب برای صفات عرض میوه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا گلدهی، وزن میوه و عملکرد در مطالعات محققانی چون سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 2021)، اکرم و همکاران (Akram *et al.*, 2019) و سلیم و همکاران (Saleem *et al.*, 2015) نیز گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف برآورد اجزای واریانس ژنتیکی و قابلیت‌های ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی تعدادی از ژنوتیپ‌های اصلاح شده انجام شد. نتایج قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی والدین نشان داد لاین مادری SC در قیاس با لاین مادری V ترکیب شونده عمومی خوبی برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی، زودرسی، ارتفاع بوته، وزن میوه در بوته و عرض میوه بود و در مقابل، لاین مادری V در قیاس با لاین مادری SC ترکیب شونده عمومی خوبی برای صفت تعداد میوه در بوته بود. از میان تسترها نیز تستر L ترکیب شونده عمومی خوبی با لاین‌های مورد مطالعه برای بهبود صفات تعداد روز تا اولین گلدهی، زودرسی، تعداد میوه در بوته، وزن میوه در بوته و عرض میوه بود و تستر MZ نیز GCA بالایی را برای صفت ارتفاع بوته ثبت کرد. این گونه والدین صفت مورد نظر را به آسانی به نتاج خود منتقل می‌کنند، لذا والدین مذکور جهت استفاده در پروژه‌های اصلاحی گوجه‌فرنگی توصیه می‌گردد. همچنین برای بهبود صفات زودرسی و عرض میوه تلاقی SC×L و برای صفات ارتفاع بوته و وزن میوه در بوته نیز به‌ترتیب تلاقی‌های SC×R و V×MZ ترکیب شونده‌های خصوصی مطلوبی بودند. بررسی متوسط وضعیت ژنوتیپ‌ها نیز حاکی از آن بود که از میان ارقام والدینی، لاین مادری SC و از میان تلاقی‌ها، ژنوتیپ SC×L کم‌ترین میانگین‌ها را برای صفات تعداد روز تا اولین گلدهی و زودرسی داشته‌اند که کاهش این صفات مدنظر محققان می‌باشد. همچنین در میان والدین، لاین‌های مادری SC و V به‌ترتیب برای صفات تعداد میوه در بوته و ارتفاع بوته، تستر L برای صفت عملکرد میوه و تستر MZ برای صفات وزن میوه در بوته و عرض میوه بیش‌ترین میانگین‌ها را ثبت کردند. در میان تلاقی‌ها، تلاقی L×SC برای صفات وزن میوه در بوته، عملکرد و عرض میوه، تلاقی L×V برای صفت تعداد میوه در بوته و تلاقی MZ×V برای صفت ارتفاع بوته بیش‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. نتایج برآورد اجزای واریانس ژنتیکی نشان داد صفات ارتفاع بوته و وزن

میوه در بوته بیش‌تر تحت تـاثیر واریـانس افزایشـی قـرار دارنـد، لـذا بهترین روش اصلاحی برای بهبـود صـفات مـذکور گـزینش از میـان نسل‌های در حال تفکیک می‌باشد. صفات تعداد روز تا اولین گلـدهی، زودرسی و عملکرد تحت تاثیر واریانس غیرافزایشی بودنـد، لـذا بـرای بهبود صفات مذکور تولید هیبرید توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری جهت حمایت مالی این طرح (۰۱-۱۳۹۸-۰۴) سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1. Akram, A., Khan, T.N., Minhas, N.M., Nawab, N.N., Javed, A., Rashid, S., Atif, M.J., & Shah, S.U.S. (2019). Line × tester analysis for studying various agronomic and yield related traits in field tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, *51*(5), 1-6.
2. Arefi, S., Nabipour, A., & Samizadeh, H. (2015). Evaluation of combining ability of Sunflower lines based on Line × Tester analysis under water stress and non-stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, *7*(15), 115-125. (In Persian with English abstract)
3. Arora, H., Jindal, S.K., & Chawla, N. (2022). Combining ability analysis for yield and quality traits in exotic lines of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Agricultural Research Journal*, *59*(3), 394-399.
4. Behzadi, B., & Rakhshanderoo, M. (2014). Determination of the best planting pattern of drip-tape irrigated tomatoes. *Seed and Plant Production Journal*, *30*(4), 389-400. (In Persian with English abstract)
5. Burdik, E. (1954). Genetics of heterosis for earliness in tomato. *Genetics*, *39*, 488-505.
6. Carsono, N., Desiana, N., Nurrizqi, F.M., Elfakhriano, I.F., Santika, A., Kusumiyati, S., Ohsawa, R., Shimono, A., & Ezura H. (2022). Evaluation of agronomic and fruit quality traits of miraculin transgenic tomato. *Biodiversitas*, *23*(4), 2004-2009.
7. Choukan, R. (2008). *Methods of Genetical analysis of Quantitative Traits in Plant Breeding*. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Agricultural Extension, Education and Research Organization Seed and Plant Improvement Institute, Chapter 5. pp: 83-95. (In Persian)
8. Ene, C.O., Abtew, W.G., Oselebe, H.O., Ozi, F.U., Ogah, O., Okechukwu, E.C., & Chukwudi, U.P. (2023). Hybrid vigor and heritability estimates in tomato crosses involving *Solanum lycopersicum* × S. *pimpinellifolium* under cool tropical monsoon climate. *International Journal of Agronomy*, *2023*, 1-17. https://doi.org/10.1155/2023/3003355
9. Farsi, M., & Bagheri, A. (2013). *Principles of Plant Breeding*. Iranian Student Book Agency, Mashhad, Iran, Chapter 10. pp: 160-166. (In Persian)
10. GolCheshmeh, S., Kiani, G., KazemiTabar, S.K., & Navabpour, S. (2022). Investigation of morphological diversity and evaluation of tomato lines yield using multivariate statistical analysis. *Journal of Horticultural Science*, *36*(1), 415-427. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JHS.2021.70173.1048
11. Gowthami, K.J., Raut, N., Jawadagi, R.S., Chittapur, R., & Haveri, N. (2022). Assessment of combining ability in tomato genotypes (*Solanum lycopersicum* L.) for quality traits. *Emergent Life Sciences Research*, *8*(1), 63-69. https://doi.org/10.31783/elsr.2022.816369
12. Hasan, M.J., Kulsum, M.U., Ullah, M.Z., Rahmana, A.H.M.A., & Eleyash-Mahmuds, M. (2014). Combining ability analysis for yield and yield contributing traits in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Annals of Bangladesh Agriculture*, *18*(l), 27-36.
13. Hosseini, S.F., Choukan, R., Bihamta, M.R., & Mohammadi, A. (2013). Estimation of combining ability and gene effect in maize lines using line × tester analysis under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *15*(1), 60-70. (In Persian with English abstract)
14. Izzo, A.M., Khojah, H., & Murie, A.M. (2022). Combining ability and heterosis for yield and some fruit traits of tomato. *DYSONA Applied Science*, *3*, 15-23. https://doi.org/10.30493/DAS.2021.295501
15. Javed, A., Nawab, N.N., Gohar, S., Akram, A., Javed, K., Sarwar, M., Tabassum, M.I., Ahmad, N., & Mallhi, A.R. (2022). Genetic analysis and heterotic studies in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrids for fruit yield and its related traits. *Journal of Breeding and Genetics*, *54*(3), 492-501. http://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.3.3
16. Kayak, N., Kiymaci, G., Kal, U., Dal, Y., & Turkmen, O. (2022). Determination of morphological characteristics of some prominent tomato genotypes. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, *36*(1), 106-113.
17. Kempthorne, O. (1975). *An Introduction to Genetic Statistics*. John Wiley and Nordskoy, Inc, London, Chapman and Hall, Ltd, pp: 231.
18. Kiani, G., Nematzadeh, G.A., Kazemitabar, S.K., & Alishah, O. (2007). Combining ability in cotton cultivars for agronomic traits. *International Journal of Agriculture and Biology*, *9*(3), 521-522.
19. Kimura, S., & Sinha, N. (2008). Crossing tomato plants. *Cold Spring Harbor Protocols*, *3*(11), 1-19. https://doi.org/10.1101/pdb.prot5082
20. Kumar, K., Sharma, D., Singh, J., Sharma, T.K., Kurrey, V.K., & Minz, R.R. (2018). Combining ability analysis

for yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*(6), 1002-1005.

21. Kumar, S., & Ramanjini-Gowda, P.H. (2016). Estimation of heterosis and combining ability in tomato for fruit shelf life and yield component traits using Line × Tester method. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, *9*(3), 10-19.
22. Lone, S., Hussain, K., Malik, A., Masoodi, K.Z., Dar, Z.A., Nazir, N., Zahed, Z., & Ali, G. (2022). Combining ability studies in cherry tomato for yield and yield attributing traits in open and protected conditions. *The Pharma Innovation Journal*, *11*(3), 782-793.
23. Mirshamsi-Kakhki, A., Farsi, M., Shahriari-Ahmadi, F., & Nemati, H. (2008). Use of random amplified polymorphic DNA markers to estimate heterosis and combining ability in tomato hybrids. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *11*, 499-507. https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.499.507
24. Narasimhamurthy, Y.K., & Ramanjini-Gowda, P.H. (2013). Line × Tester analysis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) identification of superior parents for fruit quality and yield-attributing traits. *International Journal of Plant Breeding*, *7*(1), 50-54.
25. Noori, M., Motallebi-Azar, A., Saidi, M., Panahandeh, J., Zare-Hghi, D., & Rasuli-Azar, S. (2020). Combining ability estimates for yield some traits in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) by Line×Tester. *Journal of Crop Breeding*, *11*(32), 22-32. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/jcb.11.32.22
26. Pattnaik, P., Singh, A.K., Kumar, B., Mishra, D., Singh, B.K., Barman, K., & Pal, A.K. (2020). Analysis of heterotic pattern of F_1's in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) for the improvement of yield and quality traits. *International Journal of Chemical Studies*, *8*(4), 3160-3165.
27. Rachman, F., Trikoesoemaningtyas, T., Wirnas, D., & Reflinur, R. (2022). Estimation of genetic parameters and heterosis through line × tester crosses of national sorghum varieties and local Indonesian cultivars. *Biodiversitas*, *23*(3), 1588-1597. https://doi.org/10.13057/biodiv/d230349.
28. Rehanaa, S., Harun-Or-Rashid, M., Zebac, N., Ullahd, M.Z., Narzisc, N., Husnac, A., & Siddique, A.B. (2022). Study on combining ability for yield and yield contributing traits in water stress tolerant genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Big Data in Agriculture*, *4*(1), 28-31. http://doi.org/10.26480/bda.01.2022.28.31
29. Saeed, A., Hassan, N., Shakeel, A., Saleem, M.F., Khan, N.H., Ziaf, K., Manzoor-Khan, R.A., & Saeed, N. (2014). Genetic analysis to find suitable parents for development of tomato hybrids. *Life Science Journal*, *11*(12), 30-35. https://doi.org/10.7537/marslsj1112s14.06
30. Saidi, M., Warade, S.D., & Prabu, T. (2008). Combining ability estimates for yield and its contributing traits in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *International Journal of Agriculture and Biology* 10(2): 238-240.
31. Saleem, M.Y., Akhtar, K.P., Iqbal, Q., Asghar, M., & Shoaib, M. (2015). Development of high yielding and blight resistant hybrids of tomato. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *52*(2), 293-295.
32. Saleem, M.Y., Asghar, M., Haq, M.A., Rafique, T., Kamran, A., & Khan, A.A. (2009). Genetic analysis to identify suitable parents for hybrid seed production in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Pakistan Journal of Botany*, *41*(3), 1107-1116.
33. Sankhala, P.M., Patil, S.S., & Abhishek, D. (2022). Combining ability analysis of fruit yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Agriculture Research and Technology*, *47*(2), 178-182.
34. Singh, R.K., & Chaudhary, B.D. (1979). *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. Kalyani Publishers, New Delhi, India. pp: 276-286.
35. Singh, S., Singh, A.K., Singh, B.K., Singh, V., & Shikha, K. (2021). Line × tester analysis for yield and component traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *10*(1), 2044-2049.
36. Solieman, T.H.I., El-Gabry, M.A.H., & Abido, A.I. (2013). Heterosis, potence ratio and correlation of some important characters in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, *150*(4), 25–30. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.024
37. Tamta, S., & Sing, J.P. (2017). Heterosis in tomato for growth and yield traits. *International Journal of Vegetable Science*, *24*(2), 169-179. https://doi.org/10.1080/19315260.2017.1407857
38. Zengin, S., Kabaş, A., Oğuz, A., Eren, A., & Polat, E. (2015). Determining of general combining ability for yield, quality and some other traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) inbred lines. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *28*(1), 1-4.